

出國報告（出國類別：其他）

參加法國 3N2013 論壇、第 14 屆 WGRisk 年會及訪問 NEA 與米蘭科技大學

服務機關：核能研究所

姓名職稱：趙椿長 副研究員
夏振原 研究助理
高良書 研究員

派赴國家：法國與義大利

出國期間：102 年 3 月 10 日~102 年 3 月 29 日

報告日期：102 年 4 月 23 日

英文摘要

The purpose of this trip is to attend the 3n2013 Symposium in Lyon, 14th annual meeting of the WGRisk in Paris and to visit NEA and LASAR.

Invited by the AREVA, the Institute of Nuclear Energy Research participated to the 3N2013 symposium and share research information with over 250 specialists from 23 countries.

WGRisk is one of the working groups under CSNI of OECD. The 14th annual meeting was held on March 20-22, 2013. The Institute of Nuclear Energy Research was invited, as an observer, to attend the technical part of annual meeting and to report the status of PRA research activities in Taiwan.

On the visit to NEA, recent technical documents of NEA were collected and also the future cooperation between INER and NEA was discussed.

On the visit to LASAR in Milano, technical cooperation on issues related to uncertainty of seismic PRA was discussed.

中文摘要

本次公差的主要目的為參加 3N2013 論壇、第 14 屆 WGRisk 年會，及訪問 NEA 與米蘭科技大學。

在 AREVA 公司的邀請下，核能研究所首度參加該公司主辦的 2013 年新核能需求 (3N2013)論壇，與來自 23 國的 250 位專家共同分享研發經驗。

OECD 下設的核設施安全委員會(CSNI)，於 3 月 20 日至 22 日舉辦第 14 屆 WGRisk 年會。核能研究所於民國 96 開始應 OECD 核能署(NEA)之邀請，參與 WGRisk 年會，今年再度邀請我國參加 2013 年年會，除了參與相關討論外，同時蒐集會員國最新的 PRA 發展與應用資料，增進了解國際間 PRA 研究的近況。

米蘭科技大學能源學系的 LASAR 專業實驗室成立於 2006 年，主要研究方向為建立複雜系統的快速數值計算模式，本次訪問討論地震安全度評估不準度分析的執行細節。

在離境巴黎返台前，於當地順道訪問 NEA，除了與原能會駐 NEA 代表討論積極參與 NEA 所屬核能安全相關研究的未來規劃方向與執行方式之外，同時亦蒐集 NEA 所屬各工作小組之研發成果。

目 次

	頁碼
英文摘要.....	i
中文摘要.....	ii
一、目的.....	1
二、過程.....	2
三、心得.....	22
四、建議事項.....	25
五、參考資料.....	26

一、目的

本次公差的主要目的為參加 3N2013 研討會與 WGRisk(Working Group on Risk)第 14 屆年會，以及訪問 NEA 與米蘭科技大學。

3N2013 論壇為法商 AREVA 公司舉辦的核能相關論壇，目的為招集核能業者及核設施相關廠家等專家，共同討論核能界未來的需求以及解決方案。核能研究所首度獲該公司邀請參加論壇，與來自 23 國約 250 位專家學者分享研發經驗，並就未來的需求與研發方向進行討論。

國際經濟開發合作組織(Organization for Economic Co-operation and Development, OECD)下設的核設施安全委員會(Committee on the Safety of Nuclear Installations, CSNI)，於 3 月 20 日至 22 日舉辦第 14 屆 WGRisk 年會。核能研究所於民國 96 開始應 OECD 核能署(Nuclear Energy Agency, NEA)之邀請，以觀察員身分參與 WGRisk 年會及工作小組會議，會後亦積極參與工作小組之研究工作，包括提供我國安全度評估(Probabilistic Risk Assessment, PRA)研究相關資料，及協助審查研究報告等。本次 WGRisk 年會籌劃秘書長 Abdallah Amri 博士再度於會議前透過原能會駐 NEA 代表羅偉華博士，邀請我國參加 WGRisk 年會。核能研究所安全評估工作同仁高員、趙員及夏員奉派出席本屆年會，除參與相關討論外，同時蒐集最新 CSNI 會員國的 PRA 發展與應用資料，並了解目前國際間 PRA 研究近況。

米蘭科技大學的 LASAR(Laboratorio Alalisi di Segnale e Analisi di Rischio)專業實驗室成立於 2006 年，主要研究方向為建立複雜系統的快速數值計算模式，並強調不準度分析的重要性，除了協助加速複雜系統相關分析結果的計算過程外，同時也提供高信心值的不準度分析結果，以作為重要決策制定的參考。本次訪問，除了與 LASAR 所有成員討論該實驗室發展的相關技術外，亦討論委託該實驗室進行地震安全度評估不準度分析的執行細節。

在離境巴黎返台前，於當地順道訪問 NEA，除了與原能會駐 NEA 代表討論積極參與 NEA 所屬核能安全相關研究的未來規劃方向與執行方式之外，同時亦蒐集 NEA 所屬各工作小組之研發成果。

二、過程

此次公差自 102 年 3 月 10 日起至 102 年 3 月 29 日止，共計 20 天，詳細行程如下：

行程					公差地點		工 作 內 容
月	日	星期	地點		國名	地名	
			出發	抵達			
3	10~11	日~一	台北	里昂	法國	里昂	去程
3	12~15	二~五			法國	里昂	參加 3N2013 論壇
3	16	六	里昂	巴黎	法國	巴黎	路程往巴黎
3	17	日			法國	巴黎	資料整理
3	18~22	一~五			法國	巴黎	參加 WGRisk 工作小組會議及年會
3	23	六	巴黎	米蘭	義大利	米蘭	路程往米蘭
3	24	日			義大利	米蘭	資料整理
3	25	一			義大利	米蘭	訪問米蘭科技大學
3	26	二	米蘭	巴黎	法國	巴黎	路程往巴黎
3	27	三			法國	巴黎	訪問 NEA
3	28~29	四~五	巴黎	台北			返程

3 月 12 日至 15 日參加 3N2013 論壇，與來自 23 國約 250 位專家學者分享研發經驗，並就未來需求進行討論，討論議題包括機組延役、大型設備更換(ex.SG 更換)、未來核設施運轉安全需求、日本福島核子事故後的省思、爐心組件完整性評估、核設施最終熱沉設計、運轉績效、燃料設計、設備改善、燃料循環、功率提昇、數位儀控設計、核能未來發展等等。

3 月 18 日至 22 日以觀察員身分參加第 14 屆 WGRisk 年會及工作小組會議，本次年會除了執行中工作小組的工作報告外，亦進行有關研究用反應器之技術討論，討論會由印度代表主持，會中印度、荷蘭、波蘭、瑞典以及 WGRisk 秘書分別發表簡報，並進

行深入討論。

3月25日訪問米蘭科技大學 LASAR 專業實驗室，除了實地瞭解該實驗室目前發展的技術之外，同時針對地震安全度評估之不準度分析與雙方未來可能合作交流的方向進行討論。

3月27日訪問 NEA，與原能會駐 NEA 代表羅偉華博士討論核能研究所未來擴大參與 NEA 各工作小組進行的核能安全相關國際合作計畫之規劃，同時也在羅偉華博士的協助下，蒐集 NEA 所屬各工作小組之工作報告、技術報告及論文，對於核能研究所核能安全相關計畫之執行與未來規劃有相當大的助益。

(一)、參加 3N2013 論壇

3N2013 論壇全名為 New Nuclear Need Symposium 2013，為法商 AREVA 公司舉辦的新核能相關工業論壇，該論壇自 1980 年代即開始舉辦，目的為召集核能業者及核設施相關廠家等專家，共同討論核能界未來的需求以及解決方案，論壇中也展示最新的核設施設備並進行其相關應用說明。法商 AREVA 公司過去僅透過駐台辦事處邀請台電公司參加論壇，由於受到日本福島核子事故的影響，有許多新增議題必需仰賴研究單位的參與，因此 AREVA 公司今年擴大邀請來自研究單位的專家學者們與會討論，以凝聚各界的意見，共同為核能工業的未來提出具體與建設性的規劃。

本次 3N2013 論壇共有來自 23 個國家超過 250 位專家學者參與，會中討論的議題包括機組延役、大型設備更換、未來核設施運轉安全需求、日本福島核子事故後的省思、爐心組件完整性評估、核設施最終熱沉設計、運轉績效、燃料設計、設備改善、燃料循環、功率提昇、數位儀控設計、核能未來發展等。

由於有許多國家的核設施已經接近原始設計的運轉年限，為了能提升這些核設施的經濟效益，延長運轉年限的相關議題是近來相當受到關注的議題；許多研究單位開始進行在維持運轉安全前提下的核設施延役計畫研究，在經過討論與意見交換後總結因應核設施延役的相關議題包括延役的安全評估方法、設備老化評估、設備運轉年限評估、大型設備更換相關技術、增進運轉效益等，這幾項議題雖屬不同技術層面的研究領域，但

其中部分領域在業界也早已有相當成熟的技術或經驗，例如由韓國 KHNP 分享的壓水式反應器蒸氣產生器更換經驗、法國 AREVA 分享的爐心重要組件檢測與完整性評估技術以及反應爐冷卻水泵軸封完整性評估等等，均獲得與會專家學者們的肯定與支持，同時也鼓勵將發展中或已有初步結果的研究提出來討論，並藉由國際合作加速研發的進度。

在日本福島核災事故後，各國核能管制單位、研究單位與營運業者三方提出許多層面的檢討與因應改進方案，其中部分硬體改進措施則有賴設備廠家與研究單位共同合作開發，希望能讓營運業者以符合經濟效益的方式配合改善或新增硬體設備，以防止類似事件發生。在論壇中由法國 EDF 整理與歸納日本福島核災事故後檢討與改進的相關議題，並由與會人員討論未來研發方向，部分來自設備製造廠家的專家則分享目前硬體設備新增或改善的研發進度，與會人員普遍認為目前的分析能力以及工業製造技術，均能滿足各項改善建議的需求，實際重點應在於安裝及測試等相關過程是否能滿足原始的需求，由於很多設備無法經由實體環境測試來驗證，發展分析模式雖可取而代之，但參數校正所需的小型實驗數據則相當缺乏，與會人員呼籲廠家及研究單位能合作進行各項小規模實驗，並提供實驗數據作為模式參數校正的依據，對於未來設備改善將有莫大的助益。

新型燃料設計以及用過核燃料再循環是大幅增加核能電廠經濟效益的最有效方式，目前中國大陸積極擴展核能機組，燃料取得將是未來核能機組運轉的挑戰之一；新燃料設計的重點在於提升核設施運轉安全性以及燃料本身的可靠度，進而提升燃料在各種嚴苛運轉狀態下的成效。首先是有關燃料及反應爐爐心中子相關模擬計算的精進，這有助於降低分析保守度以及不準度，進而將評估過程中非必要的安全餘裕轉化為燃料績效，這些改善包括 3D 爐心功率分布計算可以降低 1.7% 的不準度、使用最佳化實體運算來強化穩態及暫態分析計算、引用結合機械反應以及熱水流分析的評估模式減少爐心組件或燃料發生變形的狀況。在提升燃料品質方面，包括利用先進製造技術來強化燃料格架與支撐、透過自動化燃料丸表面檢查以減少燃料丸和燃料護套間的碰撞或摩擦等改善方法，實際運轉結果顯示這些新技術可以完全避免燃料丸和燃料護套碰撞或摩擦，使得爐心不再發生類似狀況導致燃料破損。在提升燃料安全方面，當有新的燃料受損事件發

生，管制單位在經過肇因分析後有可能修訂安全相關規範，進而提出新的管制要求，目前所有燃料製造廠家均持續進行爐心燃料現象分析的研究計畫，在新的管制要求公佈時，便可以在最短的時間內修訂燃料製程來符合新法規的要求。

本次論壇會場亦規劃實體設備展示空間，展示的項目包括非能動的可燃氣體催化結合器、氣體採樣與監控設施、氫氣偵測裝置、硼酸濃度分佈偵測裝置、非能動軸封裝置、反應爐冷卻水泵軸封、安全相關儀控系統平台、老化管理以及設備壽命評估軟體、線上閥位偵測、新燃料設計概念及樣品等，展示區在論壇進行期間都有派專人進行解說，由於這些展示裝置或設備、分析技術與方法都是目前最新的設計，因此相當受到與會人員的青睞。

另外，本次論壇也安排位於里昂郊區的大型設備製造工廠、核能訓練與檢證中心以及燃料設計與製造中心等三項參訪行程。高員、趙員以及夏員均選擇參訪與國內核能技術相關的燃料設計與製造中心。該燃料設計與製造中心為 AREVA 公司現有全球的商用反應器燃料製造中心之一，名為 FBFC Romans，位於離里昂車程約 90 分中的 Roman 地區；整個中心約有 800 位員工，在製造鈾燃料相關產品方面已有超過 30 年的經驗，主要生產粉狀二氧化鈾、燃料丸、燃料棒與燃料組件等商用反應器燃料用相關原料組件。透過現場生產線的觀摩解說易於了解鈾燃料相關的生產程序，包括前段原物料配製程序的 UF₆ 轉化為粉狀 UO₂、將粉狀 UO₂ 壓製為燃料丸，與後段填封組裝製程，例如銻合金的燃料承裝組件生產、燃料格架以及燃料組件頂端與底端固定噴嘴的製造，燃料丸填裝至燃料棒與最後填封組裝成為燃料組件。FBFC Romans 除了提供高產能的核燃料之外，也相當注重當地的環境保護，除了在該廠址四周種植許多植物外，亦有為數不少的水、土壤以及空氣的取樣點，每年要取大約 15,000 個樣品進行檢測並對外公佈檢測結果，由廠區排放至溪流的排放水也每週固定進行檢測。

(二)、參加第 14 屆 WGRisk 年會及工作小組會議

第 14 屆 WGRisk 年會工作小組會議於 3 月 20 日至 22 日於 OECD 位於巴黎的總部召開，由於歷年 WGRisk 年會中均安排風險分析的相關技術討論，由會員國簡報其國內

現況並討論未來可行的研發方向，相當值得相關專業人員與會參與討論，並立即獲取相關資料。雖然我國並非 NEA 會員國，民國 96 年在當時原能會駐 NEA 代表林耿民先生的積極聯繫與協調下，WGRisk 首度允諾我國可派代表以觀察員的身分參加 WGRisk 年會並全程參與技術討論。今年 WGRisk 年會籌劃秘書長 Abdallah AMRI 博士再度透過現任原能會駐 NEA 代表羅偉華博士，邀請我國參與年會議題討論。

WGRisk 的主要工作為協助 NEA 進行核設施相關的機率性安全評估(Probabilistic Risk Assessment, PRA)研究工作，各 OECD 會員國均可參與，並不僅限於具有核設施的國家，研究工作以部分會員國所成立的研究工作小組來進行。WGRisk 每年於 3 月定期舉辦一次年會，邀請所有會員國家參與，年會主要目的為定期分享各國 PRA 相關資訊、討論執行中工作小組的進度及研究成果、討論新工作小組成立的必要性以及其研究方向、專業技術議題討論等，會中也邀請 NEA、歐盟國際原子能總署(International Atomic Energy Agency, IAEA)以及同為 NEA 下屬的其他工作小組共同參與討論。

在年會舉辦前，WGRisk 所屬的工作小組會依需求先行舉辦工作小組會議，以確認各工作小組在年會簡報該工作小組一年來的工作成果，而籌劃中的工作小組亦會在年會舉辦前邀集有興趣的各國代表，商議所籌劃工作小組的研究目標與實際內容，以便在年會中獲得大部分代表的支持，順利成立所規劃的工作小組。3 月 18 日至 19 日為期 2 天的工作小組會議議程，進行討論的包括數位儀控設備失效模式分類、WGHOFF 與 WGRisk 合作的人為可靠度工作小組等二個工作小組。

3 月 20 日至 22 日為期三天的第 14 屆年會，參與的會員國代表包括德國、比利時、韓國、西班牙、美國、芬蘭、法國、匈牙利、印度、義大利、日本、墨西哥、斯洛伐克、斯洛伐尼亞、波蘭、捷克、英國、瑞典、瑞士及台灣，約 30 位專家參與討論，此外國際原子能總署 IAEA 亦派員參加討論。會議主席由美國核管會 Nathan Siu 博士擔任，在會議開始時除了歡迎各國代表遠道至巴黎參加本屆年會之外，也逐一介紹各國代表替換的狀態以及來自 IAEA 的代表。議程首先由 NEA 副主席代表 NEA 歡迎所有代表參加會議並發表簡短演說，演說中除了讚揚 WGRisk 過去非凡的成就之外，對於 WGRisk 所屬工作小組的成功運作亦表示印象深刻；NEA 同時也感謝 WGRisk 在福島事件發生後積

極協助 NEA 從事資料蒐集與未來研發方向的規劃，也讚揚主席在任內對於 WGRisk 工作進行的貢獻。由於現任主席的任期將屆，NEA 也期望現任主席能繼續留任，領導所有會員國共同為確保國際核能安全而努力。

1. 各國 PRA 發展與應用

會議在確認議程的變更與去年第 13 屆年會的會議紀錄後，首先由每一個會員國簡要說明年度內該國有關 PRA 研發的狀況，進行資訊分享討論，以下簡要整理各國發言的重點：

德國：開始研究低發生頻率但具有重大後果的複合式災害特性，並嘗試將其納入 PRA 的分析範圍，除了針對傳統廠內事件以及廠外事件進行評估之外，同時也詳細考慮因為其他共因失效所可能導致的肇始事件。在用過燃料池分析方面，則開始進行機率性的初步風險評估，並以 MELCOR 進行熱水流相關計算，以了解用過燃料池在事故過程中各項熱水流參數的變化。在法規方面，則持續進行反應器安全需求的相關研究。

比利時：福島事故發生後利用定性方式執行壓力測試相關分析，目前已經完成所有分析工作，但分析範圍未包含用過燃料池的相關分析。有關 PRA 的研究主要為水災及火災分析，預計於今年底舉辦火災研討會。

韓國：在審查由業者所提供的 PRA 之後，韓國管制單位已開始著手修訂相關的管制法規，並要求業者在設計及建造階段也必須提供 PRA 的評估結果，分析範圍則涵蓋廠內事件及廠外事件的一階、二階、三階 PRA。在研究計畫方面，KINS 已經開始發展多機組廠址的風險評估技術，預計在 2017 年完成。

美國：NRC 仍持續進行標準 PRA 模式(SPAR)、SAPHIRE 程式、風險顯著性評估(SDP) 以及事故先兆分析的相關研究，用以支援日常視察工作，另外也針對 ABWR、AP-1000、US APWR 以及 US EPR 等新反應器發展標準 PRA 模式；在 PRA 技術方面則開始進行個廠三階 PRA、成功準則以及人為可靠度等分析方法的精進。未來的規劃則包含個廠三階 PRA 模式建立、火災分析方法、防火測試、防火法規轉換至 NFPA 805 等相關研究。

芬蘭：目前芬蘭境內所有核能電廠均已完成 PRA 建立工作，興建中的電廠進度雖

然有些許延後，但管制單位仍然持續審查該電廠現有初步的 PRA 結果，審查的重點主要著重於數位儀控系統模擬分析。在管制單位，其他 PRA 相關工作中，還包括 PRA 分析與應用相關的指引，以鼓勵業者落實風險告知應用相關工作。在業者方面，PRA 相關工作主要著重於用過燃料池、燃料中期儲存以及終期處置設施的 PRA 建立，預計將於近期完成並送管制單位審查。

捷克：在福島事故後，完成歐盟要求的壓力測試工作，在 PRA 方面則已經完成廠內事件的一階與二階 PRA，目前持續進行低功率及大修以及廠外事件 PRA 的建立。

斯洛伐克：管制單位在審查業者所提供的 PRA 後，認為其分析品質未達到管制單位所認可的最低標準，管制單位已要求業者進行審查意見的修訂，同時也要求業者著手評估建立三階 PRA 工作的必要性及可行性。

法國：在法國，NPP PRA 均由管制單位、核能營運業者以及核能設備廠家個別發展。就管制單位而言，目前的工作著重於建立新反應器的安全指標，以因應未來新建電廠的實際需求，同時也嘗試由現有 PRA 的結果中尋找高風險的事件，並據以規劃降低運轉風險的相關管制措施。在業者方面，目前針對新型反應器 EPR 也積極進行包括數位儀控系統以及用過燃料池的風險分析，已回應管制單位在福島核子事故後所因應的安全評估要求。

印度：管制單位積極從事 PRA 相關研究，重點著重在一階 PRA、二階 PRA、地震 PRA、以及因應各種肇始事件 PRA 所涵蓋的數據蒐集、人為可靠度分析、老化評估與風險告知管制等研究工作。此外，印度管制單位為國際間研究用反應器 PRA 相關工作的負責人，規劃國際合作、資訊交換以及未來研究需求等工作。

義大利：義大利境內並無運轉中核能電廠，因此 PRA 相關的研究工作均因應未來可能興建的核能電廠而規劃，目前的研究重點在於被動式設備的可靠度評估以及第 4 大反應器可靠度的相關研究，此外也針對二階 PRA 以及動態 PRA 進行資料蒐集與研究規劃等初步研究工作。

匈牙利：目前所進行的 PRA 相關研究著重於風險監視系統的應用，管制單位於去年發布反應器的安全目標，對於運轉中反應器所設定的安全目標為爐心熔損發生頻率

$\leq(1E-4/yr)$ ，以及大量輻射外釋頻率 $\leq(1E-5/yr)$ ，對於興建中或未來建的反應器，所設定的安全目標為爐心熔損發生頻率 $\leq(1E-5/yr)$ 、大量輻射外釋頻率 $\leq(1E-6/yr)$ ，以及喪失最終熱沉發生頻率 $\leq(1E-7/yr)$ 。另外由於管制單位對於低功率及大修有新的管制要求，因而必須因應修訂低功率及大修的 PRA，而現有的 PRA 分析結果顯示廠內水災具有潛在顯著的風險，因此也必須因應設計變更修訂水災 PRA。

波蘭：管制單位已經開始將 PRA 運用於管制作為中，而因應該項需求所需的專業人力，管制單位正積極培育新進人員熟悉 PRA 專業知識，而針對研究用反應器，管制單位也開始進行 PRA 相關研究工作。

日本：在福島事故發生後，日本政府重新針對核能相關管制與研究單位進行組織重整工作，並於 2012 年底完成所有組織再造，主要目的在於強化管制以及研究的有效性，目前管制單位已經發佈新的管制要求，最終的目的在於防止爐心燃料受損、圍阻體失效以及氫氣爆炸等嚴重事故發生。另外管制單位也針對用過燃料池以及圍阻體排氣過濾裝置制定了新的管制要求。

英國：管制單位已針對新建的 2 部機組完成 PRA，並開始應用於風險監視系統中，管制單位對於 PRA 亦有新的要求，除了應包含完整的廠外事件分析以及超越設計基準事故分析之外，同時也應適度延長 PRA 中所定義的任務時間。在新的 5 年管制計畫中，管制單位特別將 PRA 應用於風險告知決策制定，以協助管制單位落實確保核安的最終目的。

斯洛伐尼亞：在福島核子事故發生後，管制單位要求針對地震、水災、地震與水災同時發生的複合性災害、火災及飛行物撞擊等事件，重新檢視設計基準，並針對設計缺失進行補強。

瑞典：去年並沒有新增 PRA 相關的研究工作，目前與俄羅斯與烏克蘭合作進行 PRA 相關研究，研究範圍著重於肇始事件、喪失廠外電源及共因失效設備分類等議題的細部研究工作。

瑞士：開始進行廠外事件以及極端天候等事件的 PRA 分析工作，並已將 PRA 分析結果運用於緊急計畫制定與演練中，此外也積極運用模擬器所得的數據來支援 PRA 所

需的資訊。

台灣：已完成運轉中核能電廠的壓力測試，除了由管制單位審查之外，同時也邀請 NEA 召集專家進行同行審查，由 NEA 所組成的審查團隊於 3 月底完成審查工作。業者因應政府要求針對所有核能電廠進行廠外事件分析以及地震 PRA 修訂工作，其中地震 PRA 修訂包含重新依據斷層資料建立地震危害評估，並因應斷然處置措施重新建立事故序列分析，此外也因應政府的要求進行二階 PRA 以及海嘯 PRA，海嘯 PRA 包含針對地震、海底火山以及海地山崩等事件評估機率性廠址海嘯危害。

西班牙：西班牙於去年並沒有新的 PRA 相關研究，仍然依據 5 年研究計劃執行研究工作，包括功率及大修期間廠內事件二階 PRA 模式之建立、低功率運轉期間一階與二階水火災模式之建立以及功率運轉期間二階水火災模式之建立

墨西哥：在完成第 6 個機組的低功率及大修 PRA 後，管制單位已經完成所有機組的 PRA，目前管制單位運用 PRA 來定義高風險事件，做為制定管制單位管制要求之依據。另外依據壓力測試的評估結果，業者決定加裝強制圍阻體排氣裝置，至於是否新增所對應的排氣過濾系統則在評估中。

2. WGRisk 工作小組報告

「數位儀控設備失效模式分類」(Task 2010-3)工作小組的主要目的為彙整數位儀控相關設備失效模式的分類方式，在考量 PRA 的應用以及數據蒐集的方式，並經過多次國際研討會彙整專家意見後，該工作小組已經完成研究報告初稿。本次年會前的小組討論會議中，所有與會人員均認為進行失效模式分類時必須有對應的假設，失效模式分類則依據主要的儀控系統功能進行資料擷取與處理、邏輯計算以及工作派遣等方式進行，失效模式區分為系統、安全分區及控制單元等三個層級。該工作小組預計於今年 5 月完成報告更新工作，於 9 月再次邀集小組成員進行討論，報告初稿將於年底完成，並於 2014 年的年初完成報告。我國因龍門電廠使用數位儀控系統，而由核研所參與其中相關議題的討論。

「在 PRA 中引用 OECD 所建立數據資料庫」(Task 2011-1)工作小組的主要目的為

研究如何有效將 OECD 所彙整的資料庫納入 PRA 的評估中，藉以增加 OECD 所建立資料庫的應用範圍，同時也提供各國 PRA 所需數據分析的參考。研究的主要工作在了解 OECD 下屬各個數據資料計畫所蒐集資料在 PRA 的適用性，並尋求相關建議或可行的合作方式，希望能藉此善用 OECD 所建立的資料庫。OECD 所屬數據相關計畫包括 ICDE 蒐集共因失效相關數據、CODAP 蒐集非能動性金屬設備運轉數據、CADAK 蒐集老化現象相關數據、FIRE 蒐集火災相關數據、COMPSIS 蒐集儀控設備相關數據。核能研究所核儀組去年以 COMPSIS 成員的身分填寫該工作小組的問卷調查表，在分析所有問卷調查資料後，該小組所得結論為數據資料蒐集相當不容易，蒐集及彙整資料時要考慮資料蒐集時的目的，使最後結果可以供正確使用；欲使用資料時，則必須考慮應用層面，方能使資料可以更符合分析的需求；最後整體資料庫結構必須提供分析使用者蒐集時的彈性以及使用的便利性。該工作小組預定於今年 3 月完成報告初稿，在 8 月重新邀集小組成員進行討論，9 月將完成報告送初步審查，最後於年底送 CSNI 審查。

「人為可靠度分析」工作小組並非由 WGRisk 所正式成立的工作小組，而是因應 WGHOF 的分析需求所成立的支援工作小組，由瑞士代表負責相關的支援工作，該工作小組的目的在於彙整各國對人為可靠度分析的需求，並定義人為可靠度分析方法，提供有效資訊。小組的工作包括資料蒐集、發展分析方法、量化與結果討論以及撰寫報告等幾項重要分項工作，依據工作小組規劃，人為可靠度分析方法將由 2 組人進行平行審查，目前已有 10 個人為可靠度分析方法已獲得小組成員認可，並著手進行相關評估工作。

「廠外天然災害 PRA」(Task 2012-1)工作小組的主要目的為籌辦廠外天然災害 PRA 研討會，由捷克代表負責推動相關工作，所籌辦的研討會將於今年 6 月 17 日至 19 日於捷克布拉格舉辦，目前已經收到 24 篇來自各國的論文投稿。該工作小組將於研討會結束後邀集工作小組成員討論報告的內容，預計於今年 12 月完成報告初稿。

「火災 PRA」(Task 2012-2)工作小組的主要目的為蒐集所有運轉組態的火災 PRA 分析需求並舉辦研討會，由德國代表負責推動相關工作。由於許多國家依據福島事件後的調查結果以及壓力測試結果更新火災 PRA，因此資料蒐集的重點也將因應這些更新狀

況，包括火災擴散分析、火災現象評估、火災發生頻率、火災實驗、人為可靠度以及組織影響等火災相關議題，所籌辦的研討會將於 2014 年 4 月 28 日至 30 日於德國慕尼黑舉辦，研討會的議題區分為火災 PRA 方法、火災事故序列分析、安全系統直接或間接受火災影響、火災 PRA 應用於風險告知決策制定及火災 PRA 其他應用等幾項重點，該工作小組將於研討會結束後邀集工作小組成員討論報告的內容，預計於 2014 年 12 月完成報告初稿。

3. 技術討論

本屆年會有關 PRA 的技術討論議題為「研究用反應器 PRA」，由印度代表主持，會中印度、荷蘭、波蘭、瑞典以及 WGRisk 秘書分別發表簡報。印度、荷蘭、波蘭、瑞典等代表所發表的簡報均著重於介紹該國研究用反應器執行 PRA 相關研究的現況以及未來規劃的方向，WGRisk 秘書則說明參加去年 4 月由國際原子能總署(IAEA)所舉辦研究用反應器 PRA 研討會所彙整的資訊，該研討會的目的為集合研究用反應器設計、運轉使用及各管制單位專家討論研究用反應器機率性評估的應用，希望能提供引用機率性評估來提升設計、運轉及維護的安全性。目前全球約有 220 座研究用反應器，但研究用反應器 PRA 相關研究並未普及於所有研究用反應器，僅有少數國家針對研究用反應器提出 PRA 的相關規範。

由於我國並沒有研究用反應器，因此本報告不再詳細介紹本次 WGRisk 年會所舉辦有關研究用反應器 PRA 的相關內容。

4. 國際研討會

參加國際研討會是 WGRisk 蒐集非會員國資訊的一個重要管道，WGRisk 也鼓勵會員國及各工作小組將工作近況或工作成果發表於各個國際會議或研討會中，以達到 WGRisk 分享研發資訊的主要目的。

在福島核災事故發後，國際間也因應研發需要而陸續舉辦各項議題的國際會議或研討會，希望藉此加速研發的進度。本次年會中，WGRisk 一如往例鼓勵所有工作小組以

WGRisk 的名義，將工作近況或成果發表於適當的國際會議中。其中各國代表所提供有關 PRA 國際會議期程歸納如下：

- 2013 年 4 月在日本東京舉辦的 PSAM 2013
- 2013 年 9 月在美國舉辦的 PSA 2013
- 2013 年 9 月舉辦的 ESREL 2013(併同 PSA 2013 舉辦)
- 2013 年年底於北歐國家舉辦的 NODIC PSA
- 2013 年年底於北歐國家舉辦的 IDPSA
- 2014 年於美國舉辦的 PSA 2014
- 2016 年於韓國舉辦的 PSAM 2016

會議中由 WGRisk 主席代表美國 NRC 簡要說明今年 1 月由美國 NRC 主辦的水災風險危害分析研討會，該研討會於 2013 年 1 月 29 日至 31 日於美國華盛頓特區舉辦，共有來自各國約 250 位專家學者參與，我國由對於海嘯風險危害分析有評估經驗的中央大學教授出席參加。日本福島核災事故發生後，國際間開始高度重視廠外水災的風險危害分析，因此本次研討會的目的還是在於討論面對廠外水災、海嘯等天然災害危害分析的需求，並依據需求規劃成立各種研究計畫，同時也召集各相關領域的研發單位提出研發計畫以及尋求研發經費的來源。國內台電公司已開始進行各核能電廠的海嘯 PRA 研發工作，相關的研發計畫包括由地震、海底火山、海底山崩、颱風或暴風雨以及潮汐現象所可能引發的海嘯危害評估，並因應海嘯危害分析結果以及核能電廠防水設計進行事故序列分析與評估，所有評估結果預計於 2015 年完成。

5. 專題研究報告

由 WGRisk 邀請法國 IRSN 進行「核子事故損失」的專題報告，所報告的內容為 IRSN 針對核子事故發生後，彙總各個層面所造成的損失金額進行概略的計算，研究中假設法國 900MWe 核能機組發失嚴重核子事故，並藉以評估所有可能造成的損害，最後換算並統計各類損害的等值金額。

在研究假設中，首要的目的就是不能忽略或低估損失，因為這項議題分析過程之不

準度較高，分析的完整性遠比損失評估的正確性還要重要。所評估的經濟損失可以大致區分為廠外人員劑量、廠內損失、發電量降低、土地汙染、替代發電所需經費以及其他預想中的各項非預期損失。

對於用於評估基準的嚴重事故類別，分析中先以類似福島事故的小規模區域影響進行評估，此外也以類似蘇聯車諾比事故造成極大量放射性物質外釋作為評估基準，討論中有部分與會人員並不贊同這項分析假設，並認為西方商用反應器的安全防禦措施已高於當時蘇聯國防用反應器，不過大家也同意這樣假設可以定義更多的損失類別，以作為後續應用於商用反應器事故成本的評估。

6. CSNI 工作小組共同研究

在福島核災事故發生後，NEA 首先要求 WGOE(Working Group on Operating Experience)進行先兆分析的相關研究，並試圖由過去發生的重大異常事件或事故中，歸納先兆事件的分類方式，同時也對核設施現行的安全屏障設計、深度防禦理念的執行成效性，提出可行的改善建議。

NEA 在審查報告後認為本項工作應由 WGOE 與 WGRisk 進行工作小組合作研究，希望整體分析結果可以應用於 PRA 相關評估中，擴大整體研究成果的應用範圍。會中首先由 WGOE 代表報告現有成果以及未來合作研究的需求，合作研究的主要目的在於徵求所有會員國確認並提供資料庫尚未紀錄的異常事件的相關訊息，讓整體資料具有完整性，但由於 WGOE 所定義的先兆事件和 PRA 領域所關注的先兆事件有很大不同，因此在討論中與會人員相當關心由 PRA 領域所提供的先兆事件訊息會使未來的資料處理更趨複雜，同時質疑對於在今年 6 月完成所有報告的可能性。最後會議通過決議，WGRisk 同意由會員國提供與福島相關的事件，不過這些事件必須以風險的角度來取決其合適性，以使分析結果能適切應用於 PRA 相關評估中，相關工作由美國代表負責協調，並提供指引協助相關資料的整理。

7. WGRisk 工作討論

針對 WGRisk 現有工作及未來規劃，WGRisk 主席邀請所有與會人員提出建議，主席表示 WGRisk 現階段任務主要為及時提供高品質工作成果、執行具有前瞻性的研究任務、以具有彈性的研究過程完成研究報告、適度與其他工作小組連繫與合作。除了先前在議程中所討論的現階段工作之外，與會人員均認為現階段還有許多研究議題具有執行的必要性，在各國代表各自提出未來研究議題之後，主席邀請所有與會人員進行一般性的討論，並針對各項工作的必要性及急迫性進行討論，最後與會人員達成必須針對三階 PRA、用過燃料池分析、延長 PRA 任務時間、多機組風險評估以及將廠外事件分析擴展至低功率及大修運轉模式等議題進行未來研究方向的規劃。

在 PRA 技術的未來方向討論中，與會人員均認為日本福島核災事故證明 PRA 分析能力仍有持續改進的必要性，PRA 分析反映的結果與實際情況仍存有待補強之處，用過燃料池的風險評估就是一個非常直接的例子。過去 PRA 是依據設計基準及各種假想危害來進行事故序列分析與風險評估，但日本福島核災事故證實依據現有危害分析結果所制定的設計基準仍有討論空間，原因在於日本福島核災事故為超越設計基準的天然災害所引發，而設計基準不足以對抗潛在發生的天然災害，顯然是危害分析保守度不足所引起，但過於保守的危害分析將導致核能電廠投資於非必要的安全措施，導致營運成本大幅增加，因此未來如何進行符合廠址現況的危害分析將是 PRA 未來發展的重要議題。

8. WGRisk 新增工作小組

在本次年會中共提出 3 項新增研究議題，在說明議題的研究方向、所需資源以及研究產出後，由各國提出意見並進行討論，最後主席在確認與會人士對新增議題沒有其他異議後，邀請所有會員國參與研究；在有足夠國家允諾組成研究核心團隊並負責研究工作之進行後，將由 WGRisk 彙整送交審查，審查通過後將由主辦國負責推動研究之執行，並確保研究工作可以如期如質完成。

第一個新增研究議題為由法國代表所提出的 PRA 分析結果中有關喪失廠外電力供應的風險洞見，喪失廠外電源及電廠全黑事件雖然是所有 PRA 都必須評估的肇始事件，但過去並沒有任何有關彙整各電廠喪失廠外電源及電廠全黑事件風險洞見的相關研

究，鑑於日本福島核子事故中包含電廠全黑及長期喪失廠外電源事件，因此有必要蒐集及彙整喪失廠外電源及電廠全黑事件的風險洞見，以提供所有電廠進行安全改善的依據。工作小組的第一階段工作為蒐集國際間核能電廠 PRA 中有關喪失廠外電源及電廠全黑事件的風險評估結果與風險洞見，這項工作可以透過問卷調查的方式來執行，第二階段則是彙整所蒐集的結果並完成報告。與會人員討論後認為這個新增工作小組具有其需求與必要性，相關工作將由法國代表規劃進行；由於我國 PRA 相關工作居於國際間領導地位，會中主席也邀請我國加入工作核心成員，我國與會代表則允諾將盡力協助工作小組相關工作之進行。

第二個新增研究議題為印度代表所提出將設備機率性壽命評估結果運用於風險告知應用中，現階段 PRA 模式對於設備可靠度及失效機率，大部分仍以評估後的點估計值作為量化的依據，對於設備老化之可靠度的影響沒有深入研究。本項工作將以機率性的方式建立設備潛在壽命評估機制，並將分析結果運用於風險告知管制應用中。工作小組第一階段工作為建立機率性設備壽命評估機制，第二階段為以案例的方式將評估結果運用於風險告知應用中，最後撰寫報告。經過討論後，與會人員認為這項工作對於風險告知管制的應用有相當大的正面助益，不過 WGRisk 並非研究單位，相關研究的主要目的為蒐集資料提供會員國作為未來規劃的參考，限於人力與經費的限制，現階段並不適合進行此分析方法或模式建立等較基礎性的研究工作，且這項工作小組提案相當類似於老化評估議題，因此會議結論為暫不針對這項新增研究議題建立工作小組，但建議未來可以納入老化相關議題成立工作小組。

第三項新增研究議題為美國代表所提出三階 PRA 風險矩陣，大部分的電廠於現階段並沒有建立三階 PRA，主要原因為各國安全目標並沒有針對廠外民眾或環境的風險提出三階 PRA 可以評估的相關指標。在日本福島核災事故發生後，廠外環境的確接受到顯著的放射性物質污染，廠外民眾也接受到顯著的輻射劑量，這使得各國開始重視廠外環境與民眾安全相關的風險指標。工作小組第一階段工作為蒐集並比較國際間對於廠外各項風險的安全目標，無論是持照要求或是一般性規範都在研究範圍中；第二階段為提出可行的風險指標，並針對如何向民眾說明風險指標意涵提出建議；現有的風險指標不

外乎為立即致死、潛在癌症及經濟損失的相關評估結果，是否有其他可行且民眾易於了解的風險指標，尤其針對多機組廠址的相關要求，將是這個階段的研究重點之一；第三階段為針對風險指標進行相對應不準度來源之評估，三階 PRA 評估的不準度極高，集體劑量評估就是一個相當好的例子，尤其在微小劑量外釋狀況下的對於龐大廠外民眾集體劑量評估更是困難，到底哪些廠外區域必須納入風險指標評估範圍？風險指標要評估多長的受影響時間？如何向一般民眾詮釋評估結果中可能涵蓋的極微小機率值？這些影響風險指標的參數及結果論斷都將是研究的重點；第四階段為蒐集計算這些風險指標及其不準度的可用工具，這些計算工具都必須要有很紮實的理論基礎，因為三階 PRA 風險指標幾乎都是極微小的機率值，對於參數設定的靈敏度極高，微小的參數變動將可能影響整體分析結果；最後一個階段則為撰寫報告。這項新增議題相當受到與會人員重視，相關的討論相當多，主要都是要釐清工作的重點以及完成工作的可行性，值得一提的是，與會代表提出在日本福島核災事故中，有部分廠區工作人員死於海嘯所造成的水災，也有民眾死於在不當強制撤離過程中所受到的精神壓力，這些都沒有涵蓋在提案的工作範圍中，類似這樣的實際案例都應蒐集相關資料，並做為安全目標制定、廠區緊急操作程序修訂以及廠外緊急計畫執行的重要參考。最後討論的結論為這項工作和其他工作小組或國際原子能總署的現階段研究工作都有關連性，且目前提案的工作範圍大，部分工作項目之執行尚無共識，因此與會人員認為 WGRisk 可以在明年的年會中進行技術討論以彙整資料及凝聚共識，並在國際上已完成較多三階 PRA 案例時提出，屆時將更符合 WGRisk 成立宗旨與可行性高的工作提案。

9. 其他討論

會議最後一天，主席請各會員國提出 WGRisk 現有運作方式是否必須進行調整，與會人員發言均表示現行運作方式並無明顯需要修訂之處，同時也對於各國均能積極協助各項工作進行表示感謝，會議最後討論舉辦明年 WGRisk 年會的時間，經過各國代表提出意見及討論後，決定下次舉辦年會以及工作小組會議的日期為 2014 年 3 月 5 日至 3 月 7 日，同時請 WGRisk 秘書規劃多機組廠址 PRA 以及三階 PRA 風險矩陣等兩項技術

議題。

10. WGRisk 主席及副主席改選

會議的最後一項議程為三年一度的 WGRisk 主席與副主席改選，現任的主席及副主席均將於本次年會後去職，改選議程由現任主席主持。WGRisk 秘書首先感謝現任主席三年來對於 WGRisk 的貢獻，並代表 NEA 致贈紀念品，隨後由匈牙利代表提名德國代表擔任下屆主席，在沒有其他提案且所有會員國均同意的狀況下，WGRisk 通過由德國代表擔任下屆主席；之後再由捷克與芬蘭代表分別提名法國及美國代表擔任副主席，由於 WGRisk 編制有兩位副主席，在沒有其他提案且所有會員國均同意的狀況下通過兩國代表擔任副主席。

(三)、訪問米蘭科技大學

米蘭科技大學(Politecnico di Milano)位於義大利米蘭市的西方，本次訪問能源學系(Dipartimento di Energia)的 LASAR(Laboratorio Alalisi di Segnale e Analisi di Rischio)專業實驗室，該實驗室成立於 2006 年，主要研究方向為建立複雜系統的快速數值計算模式，並強調不準度分析的重要性，除了協助加速複雜系統相關分析結果的計算過程外，同時也提供高信心值的不準度分析結果，以作為重要決策制定的參考。

LASAR 的核心技術主要為開發與建立各種不同蒙地卡羅(Monte Carlo)數值模擬技術，可以因應各種型態的計算需求，以最少樣本空間來達成各種數值分析需求，同時維持可接受的高信心值，所建立的數值模擬方法配合模糊(fuzzy)技術應用於電腦程式中，以取代核能電廠等複雜系統反應之計算，達成即時評估各項參數的目的，以協助運轉人員及管理階層對於維護核能電廠運轉安全的不同需求。

本次訪問由米蘭科技大學 Enrico Zio 教授接待，主要目的為討論核能研究所委託 Zio 教授執行的地震 PRA 不準度評估研究案之現況，以及未來借重 LASAR 實驗室模擬計算能力進行其他 PRA 相關廠外事件之不準度分析的合作事宜。核能研究所現正進行國內運轉中電廠地震 PRA 建立的工作，為了因應地震 PRA 分析標準的要求，必須釐清地震

PRA 結果中來自於地震危害分析、設備耐震能力評估及事故序列風險評估等各階段的不準度，以做為評估不準度對整體分析結果影響之依據。

討論過程由趙員說明我國核能研究所的研發現況及未來規劃，Zio 教授則介紹 LASAR 實驗室的研發能力以及研發現況。LASAR 在義大利米蘭科技大學以及法國巴黎中央理工學院都有研發團隊，除了研究生以及博士後研究人員之外，米蘭科技大學也有教授、專職研究人員以及來自世界各國的訪問學者參與研究。有關核能研究所委託執行地震 PRA 不準度研究案，Zio 表示該案現由巴黎中央理工學院的研究團隊執行，現階段的工作為研究地震風險評估的方法，並定義不準度的來源並進行分類，目前研究團隊已經了解核能研究所地震 PRA 中有關地震危害評估以及設備耐震能力評估的分析方法，並嘗試由評估過程中尋找主要不準度來源的相關參數，由於地震危害評估以及設備耐震能力評估是不準度的主要來源，因此現階段的工作將會持續較長的一段時間，不過整體計畫進度仍符合整體計畫的要求。

在本次訪問的另一項討論議題中，高員提到核能研究所已經開始規劃執行國內所有核能電廠的海嘯 PRA，也同樣面臨高不準度的困擾，Zio 教授表示在日本福島核災事故發生後，國際間開始重視海嘯相關議題，具有較大潛在威脅的核能電廠主要還是位於環太平洋地震帶周邊國家的核能電廠，過去由於有關海嘯危害度分析的研究較少，導致有些分析未能切合實際狀況，這由國際間近年來發生的大海嘯中得到充分的驗證，目前海嘯危害度評估方法仍有較大爭議，因此要評估海嘯 PRA 不準度仍待海嘯危害分析相關爭議有較一致的共識時才能有效進行。

有關設備在海嘯中的脆弱性評估以及海嘯事故序列分析等兩個海嘯評估重點，Zio 教授表示設備在海嘯中的脆弱性評估是工程界早已掌握的傳統分析，業界應有相當的分析共識，要釐清不準度來源以及進行不準度評估並非難事，而海嘯事故序列分析的不準度評估與其他肇始事件事故序列分析類似，是 PRA 領域的重要評估項目，且亦有一致的共識，因此整體海嘯 PRA 的不準度評估還是受到海嘯危害度評估的限制。即便現況如此，Zio 教授仍對海嘯 PRA 不準度評估具有濃厚的興趣，並認為在現階段許多專家學者投入機率性海嘯風險評估下，透過國際合作以及國際研討會的資訊交換，相關的分析

方法在短期內必定會有較一致的共識，他期待未來仍有機會再與核能研究所進行合作研究，高員也表示核能研究所基於職責仍將會積極進行核能安全的相關研究，海嘯 PRA 為近期的工作重點之一，同樣也期待未來與 LASAR 實驗室的雙方合作交流。

(四)、訪問 NEA

NEA 為 OECD 所屬負責核能相關合作的特別組織，主要目的在協助各會員國在核能和平運用的各個技術層面，能保有最先進的技術，並針對核能相關設施，提供足夠且有效的管制措施，以確保核能安全。NEA 現有聘僱員工約 82 人，2013 年的預算約為一千四百萬歐元，NEA 署長下設 3 位副署長分別負責安全與管制(包括輻射防護與放射廢棄物處理、核能安全兩個部門)、技術發展(核能技術、核能發展、數據資料庫等三個部門)、行政支援(包括秘書與公共關係、行政支援、法律等三個部門)等業務。NEA 現有來自歐洲、美洲及亞太地區等 31 個會員國，詳細的會員國資料如下表所示。

 澳洲	 法國	 日本	 斯洛伐克
 奧地利	 德國	 韓國	 西班牙
 比利時	 瑞士	 盧森堡	 瑞典
 加拿大	 匈牙利	 墨西哥	 瑞士
 捷克	 冰島	 荷蘭	 土耳其
 丹麥	 愛爾蘭	 挪威	 英國
 芬蘭	 義大利	 葡萄牙	 美國
 波蘭	 斯洛伐尼亞	 俄羅斯	

我國原能會長年均派駐 NEA 一位資深科技人員，現任為羅偉華博士，負責蒐集核能安全管理相關資料及促進國際合作，雖然 NEA 各工作小組的各項技術報告及論文均為公開資料，但進行中與規劃中的各項國際合作研究計畫的各項資訊及資料庫，均為不對外開放之資料，因此本次訪問除了討論與 NEA 各工作小組進行的核能安全相關國際合作計畫之規劃外，並經羅博士之協助，蒐集不對外開放之核能安全相關資訊。

核能研究所目前以觀察員身分參與 WGRisk，除了每年派員參與年會之外，同時也積極參與各項子計畫之工作，與各會員國交換及分享核能安全相關資訊，對於核能研究所執行各項工作有正面的助益。本次訪問除了向羅博士說明核能研究所過去一年以觀察員身分參加 WGRisk 所屬的相關工作之外，亦討論未來執行國際合作的可行方向。

因應我國核能安全研究需要，在本次訪問前即協請羅博士取得有關 NEA 工作小組所蒐集的核燃料臨界計算相關參考資料，經羅博士與相關研究人員聯繫後，得知該項資料已由參與研究的會員國彙整集成，但仍屬非公開的研究資訊；羅博士表示已透過正式管道申請該項資料，經現場再與承辦人員聯繫後，確認 NEA 工作小組尚未核准將該項資料提供給非會員國，但待申請案核准後便即刻將資料提供給我國。

由於羅博士的任期即將於今年 4 月屆滿，新任駐 NEA 代表也將於 3 月底到法國進行職務交接工作。本次參訪，趙員也提醒羅博士務必將我國參與 WGRisk 年會與工作小組之事項列為交接工作項目，待交接工作完成後，趙員會聯繫新任代表，說明我國未來持續參與 WGRisk 工作小組的規劃與執行方式。

三、心得

此次國外公差參與 3N2013 論壇、WGRisk 年會及參訪米蘭科技大學與 NEA 之心得分述如下：

- (一)在臺灣討論核能是否應該持續發展之際，國際間大多數的國家仍持續規劃核能在電力供應上的未來方向，尤其是缺乏自主能源的區域，3N2013 論壇看到來自各國的專家們，努力想藉由日本福島核子事故所提供在安全上的設計缺失，改善核設施在安全上的疑慮，可以證實核能在未來仍是乾淨、安全、可行且符合經濟效益的能源。
- (二)中國大陸目前仍以穩健的腳步，擴張核能發電所佔的能源比例，由法國所設計的新一代反應器 EPR，目前有 3 部機組分別在法國、芬蘭以及中國大陸興建中，在中國大陸興建的 EPR 並非第一個設計及興建，但目前進度遠遠超過其他兩部機組，並已經接近可以商業運轉的階段。
- (三)中國大陸在核能快速發展的腳步，直接牽動鈾燃料價格在市場的波動，未來在各國新機組不斷規畫及商轉之下，鈾燃料的價格及取得，將是另一個挑戰核能發電競爭性的一個重要因素，尤其對於機組數量少的國家，對於鈾礦取得及燃料製造與運送的競爭性，將是一個值得深切思考的議題。
- (四)基於日本福島核子事故的經驗，許多核能機組已經或規畫新增圍阻體強制排氣、氫氣結合器以及外釋氣體的過濾設施，國內各電廠亦已開始研究相關議題，可以將國際的研究經驗納入考慮，以強化運轉中電廠的安全。
- (五)過去普遍認為低功率運轉及大修中的機組的風險較低，在 PRA 方面僅僅針對廠內事件進行評估，不過在日本福島核子事故後，許多國家開始針對低功率運轉及大修運轉組態，執行地震、水災及火災 PRA，我國位於高強度地震及潛在大規模海嘯侵襲的地區，未來有必要規劃針對低功率及大修期間廠外事件建立 PRA 模式，以補齊核能電廠 PRA 的最後一塊拼圖。
- (六)俄羅斯在 2012 年加入 NEA，成為 NEA 的正式會員國，俄羅斯境內有許多不同性質的核設施，並且已累積相當多運轉經驗，這些運轉經驗將有助於 NEA 未

來在核設施設計、建造、運轉及除役等各項研究。

- (七)WGRisk 在今年改選主席及副主席，秘書的任期也將屆滿，我國並非 OECD 或 NEA 的會員國，目前仍以觀察員的身分參與 WGRisk 相關研究，取得相關的研究成果並與其他國家代表交換研發心得與未來規劃，對於國內核能安全相關研究有極大的助益，目前新任主席由德國代表獲選，未來我國是否仍以目前狀況參與 WGRisk 的運作，將倚賴我國適度進行溝通及以積極的態度參與各項研究工作。
- (八)在日本福島核子事故發生後，多機組廠址風險的相關研究逐漸受到重視，主要的分析重點著重於廠外電源供應、共用系統在事故過程中的運用以及機組間可用設備或系統的相互支援等議題，我國四座核能發電廠均設計有 2 部機組，未來宜先參考國際趨勢，規劃符合我國現況的多機組運轉風險指標，然後針對所規劃風險指標進行相關評估模式建立與應用。
- (九)在 WGRisk 年會及工作小組會議中，各國均相當重視 PRA 中有關任務時間合理性的議題，且認為適度延長分析任務時間有其必要性，不過在討論中各國代表也深切體認這項研究具有相當大的挑戰性，除了模式發展本身的困難之外，未來應用的方向與方式也是值得深入討論的議題。
- (十)過去要集合專家共同討論多半透過國際會議或研討會的形式，但由於國際間旅行受於經費限制而日漸困難，目前要集合各領域專家學這共同討論實在有其困難度，拜通訊技的快速發展，利用視訊集合大家面對面討論已經是相當普遍的方式，國內許多研究單位的研發均有賴於國際合作的進行，而許多專家面對面及時討論則有其必要性，建議國內研究單位能及時規劃國際視訊會議的相關需求，對於節約研究經費以及即時獲得研發資訊，都有相當大的助益。
- (十一) 本次公差參與 3N2013 論壇以及 WGRisk 年會，與會人員對於簡報內容及時間的掌握相當精確，絕大部分的報告均能在所要求的時間內完成，並預留較長的時間讓所有與會人員共同討論，整體會議討論的成效好，與會人員也可以藉由意見交換而有更好的收穫。

- (十二) 在日本福島核子事故發生後，PRA 及嚴重事故分析相關的研究議題新增許多，PRA 領域相關的國際會議在世界各地召開，會中可預期會有許多針對福島核子事故的相關的研究論文發表，為了蒐集相關資訊，建議國內核能研發相關單位應積極派員參與討論，藉由資訊分享來迅速建立國內相關的研發技術。
- (十三) 由米蘭科技大學 Enrico Zio 教授所主持的專業研究團隊，在義大利米蘭科技大學以及法國巴黎中央理工學院中，持續進行不準度分析相關研究，相關的研究成果並成功應用於國家級基礎設施的風險評估。本次訪問與 Zio 教授討論合作進行的地震 PRA 不準度研究，以及未來規劃執行的海嘯 PRA 不準度分析，有相當豐碩的成果，由於 Zio 教授的 LASAR 實驗室成員來自世界各地，未來希望能積極藉由合作研究，擴展核能研究所的國際合作範圍，並藉由研究成果來促進國內核能電廠 PRA 的研究品質，以協助國內核能業者確保核設施運轉的安全性。
- (十四) 近年來許多科技領域的研究預算成長趨緩，導致部分研究單位在沒有立即利益回報的先導研究計畫中遭遇經費短缺的困擾，因此透過國際合作加速研究並減少研究預算成為相當受歡迎的研究模式，但這類透過國際合作的研究成果，多半僅限於提供研究預算以及參與研究計畫執行的單位參考，建議國內各研究單位應積極參與國際合作研究計畫，無論是提供研究預算、蒐集我國個別數據或是直接參與研究計畫之執行等，都是可行的參與國際合作研究的方式。

四、建議事項

(一)參與國際核能工業技術論壇，落實國內核電廠安全

國際核能設備商或研究機構已針對福島核災事故檢討之成因提出許多解決方案，其中包含相關安全設備的評估建置，例如新增圍阻體強制排氣、氫氣結合器以及外釋氣體的過濾設施等，參與這類國際核能工業技術論壇，除了有助於了解新式核能設備的既有技術與發展方向外，並可直接提出國內改善的目標與需求以尋求解決方案，透過彼此的經驗分享與交流，將有助於提升國內電廠安全與未來研究發展方向的參考。

(二)參與國際合作研究計畫，強化與發展國內既有風險評估的技術

核能研究所獲邀以觀察員身分參與 WGRisk 年會與工作會議，參與部分工作小組的研究計畫，負責分析與審查的研發工作。另因地震 PRA 不準度評估的需要，結合國外研究機構專業分析領域以作為整體分析結果影響之依據等，除了可以加速解決執行計畫的問題外，透過這類國際間的經驗分享與交流，亦可強化國內既有的風險評估技術(例如資料蒐集、數據分析)，在有限的研究資源下，獲取最大的研發成果，同時提供未來發展方向的參考。

(三)汲取國際經驗與長處，提升國內廠外事件 PRA 的技術品質

各國管制單位在福島事故後對於電廠運轉業者執行廠外事件 PRA 之必要性已相當重視，相關研究計畫亦逐漸增加中。國內目前針對地震、海嘯、颱風與飛機撞擊等廠外事件正著手進行分析，過去的分析方法與其完整性仍有待強化填補之處，透過國際間廠外事件資料與分析技術的分享交流，將有助於加速計畫執行的能量，提出具體可行的改善建議，落實於核設施改善的質量，以提升國內核能機組運轉的安全性。

五、參考資料

- (一)3N2013 論壇資料，存核能研究所核子工程組。
- (二)WGRisk 年會會議資料，存核能研究所核子工程組。
- (三)LASAR 實驗室研究資料，存核能研究所核子工程組。